Teoría Unificada del Residuo Cuántico-Viscoso (TURV)

Dr. Carlos David Bianco Moreno

C.I.: 17.570.016

Venezuela 20/12/2025

carlosdavid1985@hotmail.es

Introducción

La **Teoría Unificada del Residuo Cuántico-Viscoso (TURV)** propone que la energía oscura observada es la manifestación conjunta de dos efectos físicos coherentes y complementarios: (i) un **residuo dinámico del vacío cuántico** descrito por un grado de libertad efectiva S(la parte TRC), y (ii) una **disipación macroscópica** del fluido cósmico debida a una viscosidad de volumen ζque convierte energía de la materia en un componente residual (la parte TRT-VC). TURV integra ambos mecanismos en una única acción efectiva y en un sistema de ecuaciones de fondo y de perturbación que son físicamente consistentes, controlables desde una aproximación efectiva y directamente confrontables con datos cosmológicos y pruebas locales.

Esta teoría busca resolver tres objetivos simultáneos: (1) ofrecer una derivación controlada y causal de la fuente de energía residual desde la microfísica cuántica, (2) explicar por qué la energía residual es extremadamente pequeña sin recurrir a ajustes finos, y (3) proporcionar un marco numérico y observacional para confrontar la hipótesis con CMB, BAO, SNIa y medidas de crecimiento de estructuras.

- **Estructura del modelo:** TURV contiene un campo escalar efectivo $S(x)$que codifica la impronta del vacío cuántico (TRC) y un fluido cosmológico con viscosidad de volumen $\zeta(\rho_m)$(TRT-VC). Ambos interactúan con la materia y entre sí mediante términos de transferencia de energía: Q_χ(disipación cuántica asociada a S) y Q_ζ(transferencia viscosa). El término total de transferencia hacia la energía residual es $Q = Q_\chi + Q_\zeta$.
- **Origen de la disipación cuántica:** Integrando campos pesados χacoplados a Sen la formulación real-time (Schwinger–Keldysh) se obtiene una autoenergía retarded Σ_{ret}cuya parte imaginaria genera un término de fricción efectivo $\gamma(S)\dot{S}$. En el límite Markoviano $\mathcal{J} = \gamma(S)\dot{S}$y la potencia transferida es $Q_\chi = \gamma(S)\dot{S}^2$.
- **Origen de la disipación viscosa:** La presión viscosa de volumen es $p_{\text{visc}} = -3\zeta(H, \rho_m)H$. La disipación macroscópica produce una tasa de transferencia $Q_\zeta = 9\zeta(H, \rho_m)H^2$.
- **Pequeñez natural:** La magnitud de γes loop-suprimida y proporcional a potencias de gy a $1/m_\chi$; ζpuede ser pequeña por razones microfísicas (tiempos de relajación largos, secciones eficaces pequeñas) y por protección de simetrías (p. ej. shift symmetry en S). Así se obtiene $Q \ll H\rho_m$en épocas tempranas, compatible con CMB.
- **Predicciones observables:** TURV produce una ligera evolución de $w_{\text{eff}}(z)$, pequeñas desviaciones en $H(z)$(sub-% a pocos % según parámetros), y una supresión moderada del crecimiento $f\sigma_8$que puede aliviar tensiones observacionales. El modelo es falsable con datos de próxima generación.

Formalismo matemático

1. Acción efectiva y campos

Definimos la acción total

$$S_{\text{tot}} = \int d^4x\sqrt{-g}\left[\frac{1}{16\pi G}R + \mathcal{L}_{\text{fluid}} + \mathcal{L}_S + \mathcal{L}_{\text{int}}\right],$$

con

$$\mathcal{L}_S = -\frac{1}{2}Z(S)\nabla^\mu S\nabla_\mu S - U(S),$$

$$\mathcal{L}_{\text{fluid}} = -\rho(\rho_m, \rho_r) + \text{(termos hidrodinámicos)}.$$

El acoplamiento microfísico mínimo que genera disipación es

$$\mathcal{L}_{\text{int}} = -\frac{1}{2}g^2S^2\chi^2 + \cdots,$$

donde χson grados de libertad pesados que se integran en la EFT.

2. Ecuaciones de movimiento (variación)

Variando la acción obtenemos las ecuaciones de Einstein y la ecuación semiclásica para S:

$$G_{\mu\nu} = 8\pi G\left(T_{\mu\nu}^{\text{fluid}} + T_{\mu\nu}^S\right),$$

$$\nabla_\mu(Z(S)\nabla^\mu S) - U'(S) = \mathcal{J}[S],$$

donde $\mathcal{J}[S]$es la fuente no-conservativa derivada de la parte imaginaria de la autoenergía al integrar χ.

3. Límite Markoviano y expresión de $\mathcal{J}$

En la aproximación de memoria corta (válida si la escala de tiempo de correlación de χes $\ll H^{-1}$) la convolución retarded se aproxima por un término de fricción local:

$$\int_{t_0}^{t} d\,t'\,\Sigma_{\text{ret}}(t,t')\dot{S}(t') \approx \gamma(S)\dot{S}(t).$$

Así definimos

$$\boxed{\mathcal{J}[S] = \gamma(S)\dot{S}, \gamma(S) \simeq \frac{g^4}{8\pi m_\chi}\,F\,\left(\frac{m_\chi}{H}, \frac{T}{m_\chi}\right).}$$

Fes una función adimensional que incorpora factores de fase-space y térmicos; para $m_\chi \gg H$y vacío $F \ll 1$.

4. Viscosidad de volumen y Q_ζ

Parametrizamos la viscosidad como

$$\zeta(H, \rho_m) = \zeta_0 \left(\frac{\rho_m}{\rho_{m,0}}\right)^{\alpha},$$

y definimos la transferencia viscosa adimensional

$$Q_\zeta = 9\,\zeta(H, \rho_m)\,H^2.$$

5. Sistema de fondo en FLRW

En un fondo FLRW homogéneo con $S = S(t)$, las ecuaciones de fondo son

$$\ddot{S} + (3H + \gamma(S))\dot{S} + \frac{U'(S)}{Z(S)} = 0,$$

$$\dot{\rho}_m + 3H\rho_m = -Q_\chi - Q_\zeta,$$

$$\dot{\rho}_r + 4H\rho_r = 0,$$

$$\rho_S = \frac{1}{2}Z(S)\dot{S}^2 + U(S), H^2 = \frac{8\pi G}{3}(\rho_m + \rho_r + \rho_S).$$

Con $Q_\chi = \gamma(S)\dot{S}^2$y $Q_\zeta = 9\zeta H^2$.

6. Ecuaciones de perturbación lineal (Newtonian gauge)

En Fourier y en gauge Newtoniano ($\Phi = \Psi$ si no hay anisotropía extra), las ecuaciones relevantes son:

- **Continuidad materia**

$$\delta_m' + \frac{\theta_m}{aH} - 3\Phi' = -\frac{Q}{H\rho_m}\delta_m - \frac{\delta Q}{H\rho_m}.$$

- **Euler materia**

$$\theta_m' + \left(1 + \frac{Q}{H\rho_m}\right)\theta_m - \frac{k^2}{aH}\Psi = 0.$$

- **Perturbación del término de transferencia**

$$\delta Q = 2\gamma\dot{S}\,\delta\dot{S} + \gamma'\dot{S}^2\,\delta S + \delta Q_\zeta,$$

con $\delta Q_\zeta = 9[\zeta'(\rho_m)\delta\rho_m\,H^2 + 2\zeta H\,\delta H]$.

- **Ecuación para δS**

$$\delta\ddot{S} + (3H + \gamma)\delta\dot{S} + \left(\frac{k^2}{a^2} + U_{\text{eff}}''\right)\delta S + \cdots = \text{fuentes métricas y acoplamientos},$$

donde los términos omitidos incluyen acoplamientos con δH, $\delta\rho_m$y derivadas de γ.

Esquema numérico y solver:

1. Variables y escalado

Trabajar en variables adimensionales para evitar overflow:

$$N = \ln\ a, \Omega_i = \frac{\rho_i}{\rho_{c,0}}, E \equiv \frac{H}{H_0}.$$

Definir $\tilde{\gamma} \equiv \gamma/H_0$y $\tilde{\zeta}_0 \equiv \zeta_0 H_0/\rho_{c,0}$.

2. Sistema de ODEs en N(fondo)

Escribir el sistema para $\{S, S', \Omega_m, \Omega_r, \Omega_S\}$con primas d/dN:

$$S' = \frac{\dot{S}}{H},$$

$$\dot{S}' = -\left(3+\frac{\gamma}{H}\right)\frac{\dot{S}}{H} - \frac{U'(S)}{Z(S)H^2},$$

$$\Omega_m' = -3\Omega_m - \frac{Q_{\text{dimless}}}{E},$$

$$\Omega_r' = -4\Omega_r,$$

$$\Omega_S' = -3(1 + w_S)\Omega_S + \frac{Q_{\text{dimless}}}{E},$$

con $Q_{\text{dimless}} = Q/(\rho_{c,0}H_0) = \tilde{\gamma}(S')^2 E + 9\tilde{\zeta}_0\Omega_m^{\alpha}E^2$(expresiones adaptadas según unidades).

3. Integrador y tolerancias

- **Integrador fondo:** solve_ivp con method='BDF' o Radau para rigidez; rtol=1e-9, atol=1e-12.
- **Integrador perturbaciones:** solve_ivp con method='RK45' o Radau si rígido; integrar por cada $k$de interés.
- **Interpoladores:** construir interpoladores cúbicos para $\Omega_i(N)$, $E(N)$, $\gamma(N)$, $\zeta(N)$para evaluar en RHS de perturbaciones.

4. Condiciones iniciales

- **Fondo:** elegir z_{ini}en era radiación (ej. $z_{\text{ini}} = 10^4$–10^6); $S(z_{\text{ini}})$pequeño, $\dot{S}(z_{\text{ini}}) \approx 0$; $\Omega_S(z_{\text{ini}}) \ll 1$.
- **Perturbaciones:** condiciones adiabáticas superhorizonte: $\delta_r = \frac{4}{3}\delta_m$, $\delta_S \approx 0$, $\theta_i \approx 0$.

5. Cálculo de observables

- **H(z):** $H(N) = E(N)H_0$.
- **Ecuación de estado efectiva:** $w_{\text{eff}}(z) = -1 + \frac{1}{3}\, d\ln\ \rho_S/d\ln\ a$.
- **Factor de crecimiento:** integrar $\delta_m(k, N)$y calcular $D(z)$, $f(z) = d\ln\ D/d\ln\ a$, $f\sigma_8(z) = f(z)\sigma_8(z)$.

6. Pipeline MCMC

- **Parámetros a muestrear:** $\tilde{\gamma}_0$(o g, m_χ), $\tilde{\zeta}_0$, α, U-parameters (p. ej. $m_S$si $U = \frac{1}{2}m_S^2 S^2$), $\Omega_{m,0}$, H_0, A_s, n_s.
- **Likelihoods:** Planck-like compressed, BAO, Pantheon, $f\sigma_8$.
- **Sampler:** Cobaya/MontePython; priors log-uniformes para $\tilde{\gamma}_0, \tilde{\zeta}_0$.

Comparación con otras teorías existentes:

1. ΛCDM

- **Diferencia clave:** ΛCDM postula una constante geométrica; TURV reemplaza Λpor un residuo dinámico con origen microfísico y disipación viscosa.
- **Ventaja TURV:** posibilidad de derivación desde EFT y explicación de la coincidencia por acumulación histórica de Q.
- **Desventaja TURV:** mayor número de parámetros y necesidad de justificar microfísica y screening.

2. Quintessence y campos escalares

- **Similitudes:** ambos usan campos escalares dinámicos; TURV añade disipación derivada de integración de grados de libertad pesados y un término viscous macroscópico.
- **Diferencia:** TURV incluye explícitamente términos de transferencia Qderivados y una componente viscosa que afecta directamente a la materia.

3. Modelos de interacción materia-DE (IDE) y viscous cosmology

- **Similitud con IDE:** TURV genera Qque transfiere energía entre materia y DE; a diferencia de muchos IDE fenoménicos, TURV deriva Qdesde microfísica (para Q_χ) y desde termodinámica (para Q_ζ).
- **Similitud con viscous cosmology:** TRT-VC es la parte viscosa de TURV; la novedad es la combinación con la disipación cuántica y la protección EFT.

4. Screening y pruebas locales

- TURV requiere mecanismos de screening o acoplamientos extremadamente pequeños para cumplir límites de quinta fuerza; esto es común en teorías escalares y existen mecanismos (chameleon, symmetron, Vainshtein) que pueden incorporarse.

Conclusión

TURV es una teoría unificada y falsable que combina un origen cuántico controlado del término fuente $\mathcal{J}$con una disipación macroscópica por viscosidad de volumen. Ofrece una ruta para derivar la energía oscura desde microfísica (integración de campos pesados en Schwinger–Keldysh) y para conectar efectos termodinámicos a escalas cosmológicas. La pequeñez de la energía residual se explica de forma natural por supresiones EFT (loop y masa) y por simetrías protectoras. TURV es compatible con datos actuales si los parámetros de disipación son suficientemente pequeños; su predicción distintiva es una ligera evolución de $w(z)$y una modificación del crecimiento que las próximas misiones podrán testar.